

УДК 621.315.592, 539.2

В.А. Пасечник, студентка гр. ПН-01мп, к.т.н., доц. Божко К.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛАСТИЧНЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ ТИПА «ЗЕБРА» ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК

Аннотация. Авторами выполнен краткий обзор методов измерения электрических параметров полупроводниковых материалов. Ими был предложен новый вариант метода измерения слоевого сопротивления полупроводников и тонких проводящих пленок на основе применения эластичных гальванических контактов типа «зебра». По сравнению с известными методами, например, четырехзондовым, данный вариант обладает следующими преимуществами:

- увеличена площадь контакта, что позволило уменьшить влияние нагрева за счет выделения тепла Джоуля в контактной зоне;
- уменьшено давление в 100-1000 раз на поверхность образца в зоне контакта по сравнению с четырехзондовым методом;
- отсутствуют геометрические эффекты, при этом отпадает необходимость во введении поправочных коэффициентов при измерениях.

Предложенный метод опробован на тонкой пленке (прозрачном электроде ИТО) в статическом режиме. Авторы предполагают использовать данный метод в импульсных измерениях и получении вольт-амперных и других характеристик поверхностных слоев и тонких проводящих пленок, включая наноматериалы.

Ключевые слова: тонкие пленки; анизотропопроводящая резина, слоевое сопротивление, эластичный гальванический контакт, четырехзондовый метод, прозрачный электрод.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование электрических свойств поверхностных слоев полупроводниковых материалов, например, слоевого сопротивления, требует применения специфических измерительных методов. К ним прежде всего относят [1]:

- четырехзондовый метод;
- метод измерения сопротивления растеканию (Spreading – Resistance–Technic);
- метод измерения слоевого сопротивления по эффекту Холла, в частности, метод Ван дер Пау;
- метод измерения с помощью омических (гальванических) контактов;
- метод пробоя.

Ни один из вышеуказанных методов не является в полной мере неразрушающим для структуры тонкой пленки. Таким образом, исследуемый образец представляет собой «одноразовый» объект лабораторных измерений. Для сохранения поверхности образца от механического повреждения авторы предлагают модифицировать четвертый метод применением эластичных мягких контактов на основе анизотропопроводящей резины. Данная технология под названием «зебра» была разработана и запатентована компанией Fujitsu для индикаторов на жидких кристаллах (LCD – Liquid Cristal Display).

ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ СЛОЕВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Четырехзондовый метод [1,2] характеризуют малая затрата времени, отсутствие необходимости в специальных структурах, высокая

помехоустойчивость, возможность непосредственно получать значение слоевого сопротивления.

Измерение сопротивления растеканию дает величину некоторого сопротивления, которую необходимо корректировать, чтобы определить истинное слоевое сопротивление. размеров этих структур он хорошо применим для исследования однородности поверхностного слоя. При этом поправка обычно столь велика, что данный метод удобен только для измерения профиля сопротивления.

Метод Ван дер Пау сложен в реализации и его следует применять только в комбинации с измерениями эффекта Холла. При этом требуется сформировать на поверхности специальные структуры.

Метод измерения с помощью омических контактов также связан с необходимостью иметь соответствующие поверхностные структуры, однако благодаря малости требуемых размеров хорошо применим для исследований однородности.

Метод определения слоевого сопротивления с помощью напряжения пробоя (трехзондовый метод) представляет интерес только для исследования слоев с низким уровнем легирования на хорошо проводящей основе.

Для измерений слоевого сопротивления с помощью четырехзондового метода используют четыре металлических зонда, которые располагают на равном удалении друг от друга и прижимают к поверхности полупроводника. Через два крайних зонда задают определенный ток (зонды подключают к источнику тока), два средних зонда служат для измерения падения напряжения, которое появляется при протекании тока. Разность потенциалов обычно измеряют высокоомным цифровым вольтметром. Расстояние между соседними зондами обычно составляет 0,5-1 мм. Зонды изготавливают из вольфрама. Усилие, с которым прижимают зонд, составляет от 0,5 до 2 Н. Слоеое сопротивление R_s определяют по измеренным напряжению U и току I_b соответствии с формулой Смита [1,2]:

$$R_s = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{U}{I}; \quad (1)$$

Причинами погрешностей измерений четырехзондовым методом могут быть:

- поверхностные эффекты;
- токи утечки;
- нагрев образца за счет выделения тепла Джоуля;
- давление измерительных зондов;
- геометрические эффекты.

Слоеое сопротивление полупроводника изменяется экспоненциально с изменением температуры, поэтому эффект нагрева можно получить уже при очень малых измерительных токах.

Исследования в области эластичных контактов представлены в [3,4].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для эластичного контакта была выбрана «зебра» в форме параллелепипеда с размерами 34x5,5x2 мм, одинаковыми по толщине проводящими и изолирующими слоями, как изображено на Рисунке 1. Толщина проводящих и изолирующих слоев «зебры» одинакова и составляет 0,1 мм. Таким образом, по всей длине контактной зоны укладывается 170 проводников размером 5,5x0,1 мм и толщиной 2 мм, отделенных друг от друга изоляторами с такими же размерами.

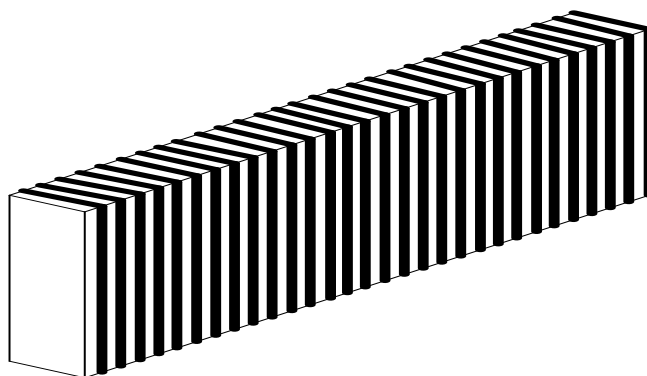


Рисунок 1. Резиновый контакт типа «зебра» с анизотропной проводимостью: темные полосы – проводят ток; светлые – изоляторы

При контакте «зебры» с платой печатного монтажа (фольгированный текстолит) мы получаем структуру типа «гребенка», в которой плоскость контакта с платой создает эквипотенциальную поверхность.

Авторами были проведены эксперименты по измерению слоевого сопротивления прозрачного электрода на основе тонкой пленки оксида индия и олова (ITO—IndiumTinOxide), нанесенной на стеклянную подложку. Данные измерения важны при тестировании подложки на однородность поверхностного слоя, а также при контроле его проводимости. Была выбрана подложка с размерами 80x51 мм и толщиной пленки ITO примерно 1 мкм. Для независимого альтернативного контроля на торцах подложки нанесли проводящие полосы из чистого индия.

Измерения проводили цифровым мультиметром. Измеряемая площадка составляла 50x34 мм. При этом полное сопротивление вместе с контактами составило $163 \pm 0,2$ Ом, без контактов – $149,6 \pm 0,2$ Ом. Удельное сопротивление равно при этом $101,7 \pm 0,2$ Ом/квадрат.

Альтернативный метод измерения на основе паяных контактов из индия дал значение $161 \pm 0,2$ Ом/квадрат, что на 50% отличается от предыдущих данных. Такой результат можно объяснить наличием разрывов в торцевых контактах из индия вследствие недостаточной адгезии при пайке.

При измерении четырехзондовым методом были применены нестандартные зонды с межзондовым расстоянием 2 мм. Ошибка метода за счет геометрического фактора составила 2%. Сопротивление вычисляли по формуле (1). Оно составило 147 ± 3 Ом, что согласуется с данными, полученными на основе предложенного авторами метода.

Действенность метода измерения слоевого сопротивления с помощью эластичных контактов типа «гребенка», на наш взгляд, доказана приведенным выше примером для тонких пленок ИТО на стеклянной подложке. Параметры метода (давление на поверхность, площадь контакта) превосходят параметры четырехзондового метода и позволяют расширить диапазон его применения для различных материалов.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований экспериментально доказана возможность применения эластичного омического контакта с конструкцией типа «гребенка» при измерении сопротивления поверхностного слоя на гладкой поверхности в статическом режиме (с помощью мультиметра). Определены конструктивные и функциональные параметры контактного устройства. В то же время обозначены последующие задачи: проведение измерений электрических параметров и получение вольт-амперных характеристик в динамическом (импульсном) режиме как для гладких, так и для шероховатых поверхностей различных полупроводников и проводящих тонких пленок, в том числе и нанопленок.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ryssel H., Ruge I. Ionimplantation. Wiley, Chichester, 1986. – 478 p.
- [2] Solymar L., Walsh D. (2014). Electrical Properties of Materials. 9th Edition. — Oxford University Press, 501 p.
- [3] Tamai T. Electrical Properties of Conductive Elastomers as Electrical Contact Material // IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, Volume: 5, 1982. – p.56 – 61.
- [4] Shenogin S., Ferguson L., Roy A. The effect of contact resistance on electrical conductivity in filled elastomer materials // Polymer, Volume. – 2020. Web: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2020.122502> Get rights and content
- [5] Zhai Ch., Hanaor D., Proust G. (2015). Stress-Dependent Electrical Contact Resistance at Fractal Rough Surfaces // Journal of Engineering Mechanics. – p.1-8.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Божко К.М.